



Espacenet

Bibliographic data: JP2004103628 (A) — 2004-04-02

LASER ANNEALING DEVICE AND METHOD OF LASER-ANNEALING TFT SUBSTRATE

Inventor(s): HONGO MIKIO; NAKADA TOSHIHIKO; YAZAKI AKIO;
HATANO MUTSUOKO; OKURA OSAMU ±

Applicant(s): HITACHI LTD ±

Classification: - international: *H01L21/20; H01L21/268;
H01L21/336; H01L29/786; (IPC1-7): H01L21/20; H01L21/268;
H01L21/336; H01L29/786*

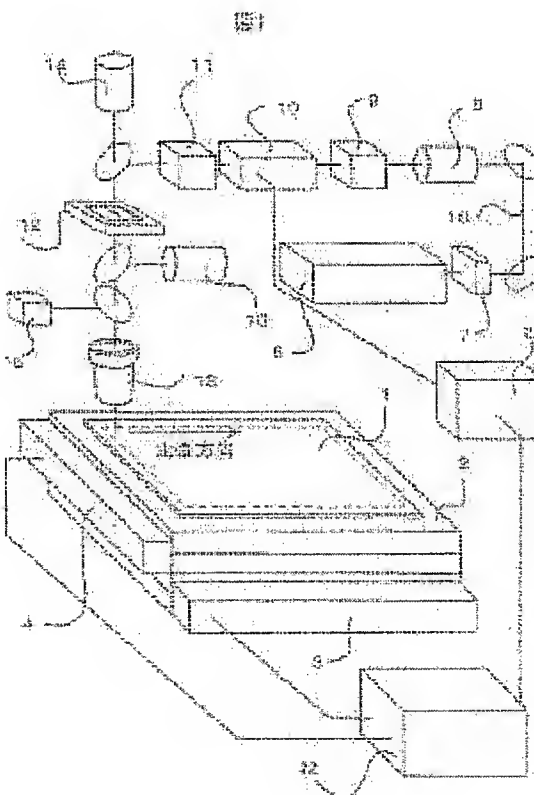
- European:

Application number: JP20020259521 20020905

Priority number (s): JP20020259521 20020905

Abstract of JP2004103628 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a laser annealing device which is capable of emitting a continuous oscillation laser beam linear through a simple optical system, accurately irradiating only a target region with a laser beam, and obtaining a polycrystalline silicon film substantially equivalent to a single crystal film without causing thermal damage to the silicon film and a substrate. ; **SOLUTION:** The laser beam is split into halves and deflected by a prism, and the split laser beams are made to overlap with each other while the directions of polarization of the split laser beams are made to cross each other at right angles, the overlapping laser beams are set uniform in energy distribution in the deflecting direction and condensed through a cylindrical lens or formed through a combination of a Powell lens and a cylindrical lens into a linear beam in the direction perpendicular to the deflecting direction. The linear beam is made to irradiate a plurality of target regions as continuously scanning the regions without stopping a stage, so that the polycrystalline silicon film having characteristics substantially equivalent to those of a single crystal silicon film is formed on only the target regions irradiated with the linear laser beam. ; **COPYRIGHT:** (C)2004,JPO



Last updated:
5.12.2011 Worldwide Database 5.7.31;
92p

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-103628

(P2004-103628A)

(43) 公開日 平成16年4月2日(2004.4.2)

(51) Int.Cl.⁷

F1

テーマコード(参考)

H01L 21/268

H01L 21/268

J

5F052

H01L 21/20

H01L 21/20

5F110

H01L 21/336

H01L 29/78

627G

H01L 29/786

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2002-259521(P2002-259521)

(22) 出願日 平成14年9月5日(2002.9.5)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

(72) 発明者 本郷 幹雄

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地

株式会社日立製作所生産技術研究所内

(72) 発明者 中田 俊彦

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地

株式会社日立製作所生産技術研究所内

(72) 発明者 矢崎 秋夫

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地

株式会社日立製作所生産技術研究所内

最終頁に続く

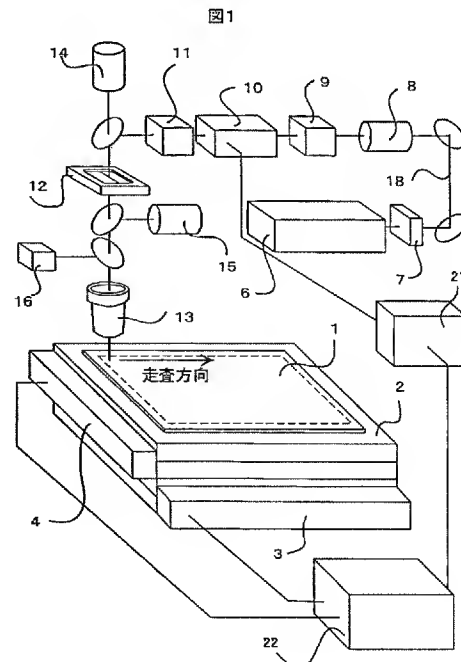
(54) 【発明の名称】 レーザアニール装置及びTF T基板のレーザアニール方法

(57) 【要約】

【課題】簡単な光学系で連続発振レーザー光を線状に成形し、レーザを照射すべき領域のみに正確に照射して、シリコン膜及び基板に熱的なダメージを与えることなく実質的に単結晶と同等の多結晶シリコン膜を得る。

【解決手段】プリズムでレーザ光を2分割して偏向させ、分割された各レーザ光の偏光方向を直交させて重ねて、偏向方向に対しては均一なエネルギー分布とし、それと直交する方向にはシリンドリカルレンズで集光する、あるいはパウエルレンズとシリンドリカルレンズの組み合わせで線状のビームを形成する。このビームを、レーザ照射を必要とする複数の領域に、ステージが停止することなく連続して走査しながら照射してアニールを行うことにより、レーザを照射した領域のみに実質的に単結晶と同等の特性を有する多結晶シリコン膜が形成される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板を載置して移動可能なステージ手段と、上記ステージの位置を検出する位置検出手段と、空間分布が円形でガウス形の分布を有する連続発振レーザ光を発生するレーザ光源手段と、前記レーザ光源手段から発生した連続発振レーザ光の ON/OFF (通過/非通過) を行う変調手段と、上記変調手段を通過した上記連続発振レーザ光を長手方向には均一で、幅方向にはガウス形の分布を有する線状あるいは帯状に成形する成形光学手段と、上記線状あるいは帯状に成形されたレーザ光を前記基板上に照射する照射光学手段と、上記ステージ手段および変調手段を制御する制御手段とを有し、上記位置検出手段で検出された位置が予め設定された位置と一致した時点で上記制御手段で上記変調手段をレーザ光通過状態とすることで、上記ステージ手段を連続的に移動させながら任意の領域に連続発振レーザ光を照射することを特徴とするレーザアニール装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 記載のレーザアニール装置において、前記成形光学手段がプリズムと 1/2 波長板とシリンドリカルレンズから構成され、上記プリズムで前記連続発振レーザ光を 2 分割するとともに分割されたビームを偏向させ、かつ 1/2 波長板で 2 分割したビームの 1 方の偏光方向を 90 度回転させて重ね合わせるとともに、上記偏向させる方向と直交する方向にはシリンドリカルレンズで集光することを特徴とするレーザアニール装置。

【請求項 3】

請求項 1 記載のレーザアニール装置において、前記成形光学手段がパウエルレンズとシリンドリカルレンズから構成され、パウエルレンズにより 1 方向に均一な分布に広げるとともに、上記 1 方向と直交する方向にシリンドリカルレンズで集光することを特徴とするレーザアニール装置。

20

【請求項 4】

請求項 3 記載のレーザアニール装置において、前記成形光学手段がパウエルレンズとシリンドリカルレンズが 1 体になった光学素子で構成され、パウエルレンズ部分により 1 方向に均一な分布に広げるとともに、上記 1 方向と直交する方向にシリンドリカルレンズ部分で集光することを特徴とするレーザアニール装置。

【請求項 5】

請求項 1～4 記載のレーザアニール装置において、レーザ光源手段がレーザダイオード励起連続発振 YVO₄ レーザの第二高調波を発生する発振器であることを特徴とするレーザアニール装置。

30

【請求項 6】

1 主面に非晶質シリコン膜あるいは多結晶シリコン膜が形成された絶縁基板をステージ上に載置し、上記絶縁基板上的非晶質シリコン膜あるいは多結晶シリコン膜の任意の領域にレーザ光を照射するレーザアニール方法であって、上記レーザ光が 1 方向に均一な分布を有し、上記 1 方向と直交する方向にガウス形の分布を有する線状あるいは帯状に成形された連続発振光であり、上記絶縁基板を連続的に移動させた状態でレーザ光を照射すべき領域のみに上記連続発振レーザ光を照射することを特徴とするレーザアニール方法。

【請求項 7】

駆動回路を構成する薄膜トランジスタの能動領域の移動度が $400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上であり、画素部薄膜トランジスタの能動領域の移動度が $200 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以下であることを特徴とする TFT 基板。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は絶縁基板上に形成された非晶質または多結晶半導体膜に、レーザ光を照射して膜質の改善あるいは結晶粒の拡大あるいは単結晶化を行うのに好適なレーザアニール方法およびレーザアニール装置に関する。

【0002】

50

【従来の技術】

現在、液晶パネルはガラスや熔融石英などの基板上の非晶質シリコン膜で形成された薄膜トランジスタのスイッチングにより画像を形成している。この基板上に画素トランジスタを駆動するドライバ回路を同時に形成することが可能になれば、飛躍的な製造コスト低減および信頼性の向上が期待できる。しかし、現状ではトランジスタの能動層を形成するシリコン膜は結晶性が悪いため、移動度に代表される薄膜トランジスタの性能が低く、高速・高機能が要求される回路の製作は困難である。これら高速・高機能の回路を製作するためには、高移動度薄膜トランジスタを必要とし、これを実現するためにシリコン薄膜の結晶性を改善する必要がある。

【0003】

この結晶性改善の手法として、従来からエキシマレーザアニールが注目を浴びている。この方法はガラスなどの絶縁基板上に形成された非晶質シリコン膜（移動度は $1\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以下）にエキシマレーザを照射して、非晶質シリコン膜を多結晶シリコン膜に変化させることで、移動度を改善するものである。しかしながら、エキシマレーザの照射により得られた多結晶膜は、結晶粒径が数 100 nm 程度、移動度も $100\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度であり、液晶パネルを駆動するドライバ回路などに適用するには性能不足である。

【0004】

この問題を解決する連続発振レーザによるアニール方法として、非特許文献1及び特許文献1に記載されている。

【0005】

【非特許文献1】

F. Takeuchi, Performance of poly-Si TFTs fabricated by a Stable Scanning CW Laser Crystallization, AM-LCD'01 (TFT4-3)

【特許文献1】

特開平10-64842号公報

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

上記従来技術では、ダイオード励起連続発振 YVO_4 レーザの第二高調波を、ガラス基板上に形成した非晶質シリコン薄膜上に走査することで結晶成長させ、 $500\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える移動度を得ている。この程度の移動度が得られると、十分な性能の駆動回路を形成することができ、システムオンパネルが実現できる。

【0007】

上記ダイオード励起連続発振 YVO_4 レーザの第二高調波の様な固体レーザの場合には、発振されるビームはガウス形の分布を持つ。また、エキシマレーザのような大出力レーザの場合にはマルチモードで発振するため、いずれの場合にも照射領域全体に均一なエネルギー密度の照射が必要なレーザアニールに適用する場合の問題点となる。そのため、例えば特開平10-64842に開示されているような複数のレンズアレイを組み合わせたビームホモジナイザを設置してエネルギー密度分布の均一化を図るのが一般的である。

【0008】

しかしながら、上記技術は複数のレンズアレイを組み合わせたもので非常に複雑で大がかりな光学系となっており、装置価格増大の原因となっていた。また、上記ダイオード励起連続発振 YVO_4 レーザの第二高調波の様な固体レーザの場合には、エキシマレーザに比べて可干渉性が高く、レンズアレイを組み合わせたホモジナイザでは均一なエネルギー密度分布のビームを得るのが困難である問題点があった。

【0009】

本発明の目的は、上記した従来技術の欠点を解決し、簡単な構造の光学系で均一なエネルギー密度分布を有する線状ビームを得て、安定に高品質なシリコン薄膜を得ることができるレーザアニール方法およびレーザアニール装置並びに方法と装置により得られたTFT基板を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明のレーザアニール方法は上記目的を達成するために、ガウス分布形のエネルギー分布をもつ固体レーザ光を線状ビームに成形するに際し、幅方向に対しては円柱レンズ（シリンドリカルレンズ）で集光しつつ、長手方向に対しては屈折あるいは反射手段でビームを2分割し、分割したビームの偏光方向が互いに90度をなすように調整して、分割前のビーム径の1/2となるように重ね合わせ、得られた線状ビームを必要に応じて対物レンズで縮小投影して非晶質あるいは多結晶シリコン薄膜に照射しつつ、レーザ光の幅方向へ走査する。

【0011】

また、本発明のレーザアニール装置は上記目的を達成するために、レーザ光を線状に成形するためのビームホモジナイザとして、幅方向に集光するための円柱レンズと、長手方向（前記幅方向と直交する方向）にレーザ光を2分割するビーム分割手段と、分割されたビームの偏光方向が直交するように調整する偏光方向調整手段と、分割されたビームを重ね合わせる手段とから構成された光学系を有し、得られた線状のビームを対象となる基板上を走査するものである。

【0012】

また、本発明のレーザアニール装置は上記目的を達成するために、1方向にレーザ光を広げるパウエルレンズと、1方向と直交する方向に集光するための円柱レンズで構成された光学系を有し、得られた線状のビームを対象となる基板上を走査するものである。尚、パウエルレンズは米国特許（USP 4826299）に開示されている。

【0013】

また、本発明の平面ディスプレイ装置は上記レーザアニール装置により、上記レーザアニール方法を適用して製造された高性能シリコン薄膜を有するトランジスタ回路の形成された平面ディスプレイ装置である。

【0014】

【発明の実施の形態】

以下に、図に従って本発明を詳細に説明する。図1は本発明の1実施例であるレーザアニール装置の構成を示す図である。ガラス基板1はXYθステージ2上に載置されている。防振機構を備えた定盤（図示せず）上に固定されたXYθステージ2にはそれぞれX方向及びY方向の位置座標を検出するためのリニアスケール3、4が付加されている。

【0015】

アニール光学系は連続発振レーザ光18を発振するレーザ発振器6、レーザ光18が不用意に照査されるのを防ぐためのシャッタ7、レーザ光18のビーム径を拡大するためのビームエキスパンダ8、レーザ光18の出力（エネルギー）を調整するための透過率可変フィルタ9、レーザ光18のON/OFFおよび必要に応じて時間的な変調を行うためのEO（電気光学）モジュレータ10とその電源21、レーザ光18を一方方向に圧縮して線状ビームに変換するビーム成形光学系11、線状に成形されたレーザ光18の必要部分のみを切り出すための電動矩形スリット12、電動矩形スリット12を透過したレーザ光18をガラス基板1上に投影するための対物レンズ13、レーザ光18の照射位置・形状を確認するためのスリット参照光源14、ガラス基板表面を照明するための落射照明光源15、ガラス基板1面の観察あるいは必要に応じてアライメント時にアライメントマークを撮像するためのCCDカメラ16、シャッタ7の開閉、透過率可変フィルタ9の透過率調整、EOモジュレータ電源21の制御、電動矩形スリット12の制御、ステージ2の制御、リニアスケール3、4からの信号処理、CCDカメラ16で撮像した画像の処理等を行うための制御装置22から構成されている。尚、図1には電気的な接続として、リニアスケール3、4と制御装置22とEOモジュレータ10と電源21の関係のみを示してある。

【0016】

レーザ発振器6は紫外あるいは可視波長の連続発振光を発生するものが用いられ、特に出力の大きさ、安定性等からレーザダイオード励起YVO₄レーザの第二高調波が最適であ

10

20

30

40

50

る。しかし、これに限定されることなく、アルゴンレーザ、YAGレーザの高調波、ファイバで結合した複数の半導体レーザ等を使用することが可能である。

【0017】

シャッタ7はガラス基板1の搬送中・位置決め中などに、不用意にレーザ光18が照射されないように設置するもので、レーザアニール時のレーザ光18のON/OFFに使用するものではない。ビームエキスパンダ8は光学素子、特にEOモジュレータ10を構成するポッケルスセルなどの結晶にダメージが発生するのを防止するためにビーム径を拡大するものであるが、高エネルギー密度に耐えるポッケルスセルを使用する場合には、特に使用しなくても良い。

【0018】

レーザ発振器6で発振された連続発振レーザ光18はシャッタ7が開の状態を通過し、ビームエキスパンダ8でビーム径を拡大され、EOモジュレータ10に入射される。この時、EOモジュレータ10の耐パワー性を考慮して、EOモジュレータ10の有効径に近い大きさまで、ビームエキスパンダ8でビーム径を拡大する。レーザ発振器6から発振されたレーザ光18のビーム径がおよそ2mmで、有効径15mmのEOモジュレータ10を使用する場合、ビームエキスパンダ8の拡大率は3～5倍程度が適している。

【0019】

ビームエキスパンダ8でビーム径を拡大されたレーザ光18はEOモジュレータ10に入射する。EOモジュレータ10は、図2及び図3に示すようにポッケルス・セル61（以下、結晶と称する）と偏光ビームスプリッタ62を組み合わせて使用する。

【0020】

レーザ光18が直線偏光の場合、図2に示すようにEOモジュレータ電源（図示せず）を介して結晶61に電圧V1（通常は電圧0V）を印加することにより、結晶61を透過するレーザ光18の偏光方向は回転せずにそのまま保存され、偏光ビームスプリッタ62にS偏光として入射して、90度偏向されるように設定する。即ちこの状態では、レーザ光18は90度偏向して出力してしまうため、以後の光学系には入射せず、ガラス基板1上ではレーザ光18はOFF状態となる。

【0021】

また図3に示すように、結晶61を透過するレーザ光18の偏光方向を90度回転させることのできる電圧V2を印加することにより、結晶61を透過するレーザ光18の偏光方向は90度回転し、偏光ビームスプリッタ62にP偏光として入射する。この時、レーザ光18は偏光ビームスプリッタ62を透過・直進する。即ち、この状態では、レーザ光18は直進して以後の光学系に入射するので、ガラス基板1上ではレーザ光18はON状態となる。

【0022】

さらに、図4に結晶61に印加する電圧とEOモジュレータ6を透過するレーザ光18の透過率T1の関係を示す。この図から分かるように、結晶61に印加する電圧をV1（通常は0V）とV2の間で変化させることにより、EOモジュレータ6を透過するレーザ光18の透過率をT1（通常は0）とT2（ここでは最大透過率、即ち1）の間で任意に設定することができる。即ち、EOモジュレータ6を透過するレーザ光18の透過率を0から1の間で任意に設定することができる。ただし、ここでは結晶61や偏光ビームスプリッタ62表面での反射や吸収はないものとして考えている。

【0023】

これらのことから、図5に示すように、EOモジュレータ10に入射するレーザ光18の出力（EOモジュレータ10への入力）をP0一定とし、結晶61への印加電圧をV1、V2、V3、V1と変化させることにより、EOモジュレータ10からのレーザ出力として、出力P2、P3の階段状のパルス出力が得られる。ここで出力P2はEOモジュレータ10への入力P0と電圧V2を印加したときの透過率T2との積で求められ、P3はP0と電圧V3を印加したときの透過率T3との積で求められる。当然、結晶61に印加する電圧を連続的に変化させることにより、透過するレーザ光2の出力を連続的に変化させ

10

20

30

40

50

ることができ、結果的に任意の時間変化を有するパルスレーザ光2を得ることができることになる。

【0024】

ここではEOモジュレータ10として、ポッケルス・セル61と偏光ビームスプリッタ62を組み合わせることで説明したが、各種偏光板を用いることができる。尚、以後の説明では結晶61と偏光ビームスプリッタ62（または偏光板）の組み合わせをEOモジュレータ10と称する。

【0025】

EOモジュレータ10の他に、AO（音響光学）モジュレータを使用することができる。ただし、一般的にAOモジュレータはEOモジュレータと比較して、駆動周波数が低いため、高速の立ち上がり・立ち下がりが必要な場合や、パルス幅の小さいパルス光を切り出すには適さない場合もある。このようにEOモジュレータ10あるいはAOモジュレータなどの変調器を用いることにより、レーザ発振器からは常にレーザ光を出力した状態で、被照射部に任意の時点で照射を開始し、任意の時点で照射を終了することができる。

10

【0026】

EOモジュレータ10によりON状態になったレーザ光18はビーム成型光学系で線状のビームに成形する。通常、ガスレーザ発振器や固体レーザ発振器からの出力ビームは、円形でガウス形のエネルギー分布を持っているため、そのままでは本発明のレーザアニールに使用することはできない。

【0027】

発振器出力が十分に大きければ、ビーム径を十分に広げ、中心部分の比較的均一な部分から必要な形状に切り出すことで、ほぼ均一なエネルギー分布の任意の形状を得ることができるが、ビームの周辺部分を捨てることになり、エネルギーの大部分が無駄になる。この欠点を解決して、ガウス形の分布を均一な分布に変換するために、ビーム成型光学系11を用いる。

20

【0028】

ビーム成型光学系11は図6に示すように1/2波長板31、プリズム32、シリンダリカルレンズ33から構成されている。1/2波長板31はプリズム32に入射する直線偏光の偏光方向を90度回転するように調整され、入射するレーザ光のちょうど半分が透過するように設置される。半分が互いに偏光方向が直交するレーザ光18はプリズム32を透過し、プリズム32の頂角部を境に2分割され、互いに重なる方向に偏向される。

30

【0029】

この時、2分割されたビーム各々は、1/2波長板31を透過した部分41（図6において、網掛けで表示）と透過しなかった部分41'とに対応し、偏向方向が互いに直交するように設定されている。ビーム形成光学系11の手前に別な1/2波長板（図示せず）を設置し、ビーム成型光学系11に入射するレーザ光18の偏光方向を回転させ、図6に示した1/2波長板31で偏光方向が90度回転するように調整することが可能である。

【0030】

プリズム32の頂角は2分割されたビームが後で説明する電動矩形開口スリット12面でちょうど重なるように設計されている。また同時に、プリズム32により偏向される方向と直交する方向には、シリンダリカルレンズ33により集光される。このシリンダリカルレンズ33は電動矩形開口スリット12面でちょうど集光する焦点距離のものが選択される。

40

【0031】

図7(a)に示すようにもともとガウス形の分布であったレーザ光はプリズムを透過した直後に半分が残りの半分と偏向方向が直交する関係を保持したまま徐々に重なり、電動矩形開口スリット12面で図7(b)に示すように完全に重なる。ここで、ビーム径をビーム中心のエネルギー密度の $1/e^2$ となる点で規定している。

【0032】

この結果、分割された各々のビームの偏向方向が直交しているため、重ねても互いに干渉

50

することはなく、図 7 (c) に示すようにほぼ均一なエネルギー分布を持つビームが形成される。また、図 7 に示した分布と直交する方向のエネルギー分布は、シリンドリカルレンズ 33 で集光される結果、ほぼガウス形の分布となる。即ち、長手方向に対してはビーム成形光学系 11 に入射したビーム径の $1/2$ でほぼ均一な、幅方向に対してはシリンドリカルレンズ 33 で集光された寸法の線状ビームが得られる。この時のエネルギー密度は、シリンドリカルレンズのみで集光した場合の中心におけるエネルギー密度に対して、中央部で約 121%、周辺部で約 114% である。

【0033】

ビームエキスパンダ 8 で 10 mm のビーム径に広げてビーム成形光学系 11 に入射し、プリズム 32 の位置から 1000 mm 離れた位置で 2 分割されたビームが重なる場合を考える。2 分割されたビームの一方は 2.5 mm 偏向されればよいから、偏向角は 2.5 ミリラジアンである。プリズムの材質を石英とすると、屈折率は 1.46 である。

10

【0034】

偏向角が小さいプリズムの場合、偏向角 ε 、プリズム稜角 σ 、プリズム屈折率 n の間には、次の関係が成り立つ。

$$\varepsilon = (n - 1) \sigma$$

即ち、 $\varepsilon = 2.5 \text{ mrad}$ 、 $n = 1.46$ から $\sigma = 5.43 \text{ mrad}$ が求まる。これは 0.31 度に相当し、プリズムの頂角 α は $\alpha = 180 - 2\sigma$ から 179.38 度となる。

【0035】

また、1000 mm の焦点距離を持つシリンドリカルレンズを使用した場合、入射ビームの拡がり角を 0.1 ミリラジアンとすることで、100 ミクロン幅が得られる。

20

【0036】

ビーム成形光学系 11 で線状に集光されたレーザ光 18 は電動矩形開口スリット 12 で不要な部分のレーザ光を切り落とされて所望の矩形形状に成形され、対物レンズ 13 でガラス基板 1 上に縮小投影される。対物レンズ 13 の倍率を M とすると、電動矩形開口スリット 12 の像、あるいは電動矩形スリット 12 を通過したレーザ光 18 の大きさは倍率の逆数、即ち $1/M$ の大きさで投影される。ここで、20 倍の対物レンズを使用することで、ガラス基板 1 表面で長手方向 250 ミクロン、幅方向 5 ミクロンの線状ビームが得られることになる。

【0037】

ガラス基板 1 にレーザ光 18 を照射するに当たって、ステージ 2 を XY 平面内で移動しながら所望の位置にレーザ光 18 をパルス的に照射するが、ガラス基板 1 表面の凹凸、うねりなどによる焦点はずれが起きると、集光されたレーザ光 18 のパワー密度変動、照射形状の劣化が起き、所期の目的を達成することができない。このため、必要に応じて常に焦点位置で照射できるように、自動焦点光学系 (図示せず) により焦点位置を検出し、焦点位置から外れた場合にはステージ 2 を Z 方向 (高さ方向) 駆動するか、あるいは光学系を Z 方向 (高さ方向) 駆動して、常に焦点位置 (電動矩形開口スリット 12 面の投影位置) とガラス基板 1 表面が一致するように制御する。

30

【0038】

レーザ光 18 を照射するガラス基板 1 表面は、落射照明光源 15 からの照明光で照明し、CCD カメラ 16 で撮像することで、モニタ (図示せず) により観察することができる。レーザ照射中に観察する場合には、CCD カメラ 16 の手前にレーザカットフィルタを挿入して、ガラス基板 1 表面で反射したレーザ光で CCD カメラ 16 がハレーションを起こしたり観察できなくなったり、極端な場合にはダメージを受けるのを防止する。

40

【0039】

試料基板 1 のアライメントは、対物レンズ 13、CCD カメラ 16 でガラス基板 1 に形成してあるアライメントマークあるいはガラス基板角部あるいは特定のパターンを複数箇所撮像し、それぞれ制御装置 22 により必要に応じて 2 値化処理、パターンマッチング処理などの画像処理を行って、それらの位置座標を算出し、ステージ 2 を駆動することで、XYθ3 軸に対して行うことができる。

50

【0040】

図1において、対物レンズ13は1個で表現してあるが、電動レボルバに複数の対物レンズを装着させておき、制御装置22からの信号により切り替え、処理内容に応じて最適な対物レンズを使い分けることができる。即ち、試料をロードした時のアライメント、必要に応じて精アライメント、レーザアニール処理、処理後の観察、更には後で述べるアライメントマーク形成等に最適な対物レンズを使用することができる。

【0041】

アライメントは専用の光学系（レンズ、撮像装置および照明装置）を設けて行うことは可能であるが、レーザアニールを行う光学系をアライメント光学系と共用することで、同一光軸での検出とレーザ照射が可能になり、アライメント精度が向上する。

10

【0042】

次に、前記した本発明のレーザアニール装置を用いて実施する、本発明の1実施例であるレーザアニール方法について、図に従って説明する。ここで、アニール対象とする基板は、厚さ0.3～1.0mm程度のガラス基板の1主面に絶縁体薄膜を介して膜厚40～150nmの非晶質シリコン薄膜を形成したもの、あるいは前記非晶質シリコン薄膜全面にエキシマレーザ光を走査することで多結晶シリコン薄膜に結晶化させた多結晶シリコン薄膜を形成したものであり、以降これらをガラス基板1と称する。ここで、絶縁体薄膜とは膜厚50～200nmのSiO₂あるいはSiNあるいはそれらの複合膜である。

【0043】

エキシマレーザでアニールした多結晶シリコン薄膜が形成されたガラス基板1をステージ2上に載置する。このガラス基板1には図8に示すように、画素部101と駆動回路部102、102'から構成され、外縁部にアライメントマーク103、103'が2箇所形成されている。これらアライメントマーク103、103'はフォトエッチング技術で形成しても良いが、この目的だけでフォトレジスト工程を実施するのは無駄が多い。このためレーザアニールに使用するレーザ光18を、ビーム成形光学系11の回転と電動矩形スリット12で、例えば縦長と横長の矩形に、順次成形して多結晶シリコン薄膜を除去加工することで十字マークを形成したり、一定幅・一定距離を高エネルギー密度で照射して矩形形状に加工して、アライメントマーク103、103'とすることができる。この場合、予め、ガラス基板1の角部等でプリアライメントを行っておく必要がある。

20

【0044】

アライメントマーク103、103'位置を検出し、XYθについて位置補正をした後、設計上の座標に従って、図8に矢印で示すようにステージ2あるいは光学系を移動させて相対的に走査させながら、EOモジュレータ10によりON状態になったレーザ光18を対物レンズ13により集光照射する。

30

【0045】

照射する領域は、例えば各画素を駆動するためのドライバ回路を形成する部分102、102'であり、より厳密には、アニール領域（図8の拡大図で、104、105、106、107、108、109、110で示した部分）である。必要に応じてガラス基板1を相対的に複数回数往復させながら順次照射する。装置の構成によっては、光学系を移動することで、相対的に走査しても良い。

40

【0046】

アニール領域104～110の各々の大きさは、例えば4mm×200μmで、この矩形領域が250μmピッチで設定されている。一方、照射するレーザビームの大きさは250μm×5μmである。即ち、レーザビームは図16に示す長手方向が250μm、幅方向が5μmの矩形（線状）に成形されている。

【0047】

この時のエネルギー密度は50×10³～500×10³W/cm²程度が適しているが、シリコン膜の膜厚、非晶質か多結晶か等によって変動する。1回の走査でアニールできるのが250μmであるため、必要な幅（4mm）をアニールするためには16回の片道走査、あるいは8往復走査の照射が必要になる。レーザビームの大きさはレーザ発振器6の

50

出力で決まり、発振器 6 の出力が十分に大きければ、より大きな領域に照射することができ、走査回数を減らすことができる。あるいは照射するビームの形状をより小さな集光幅にすることでも、長手方向を大きくすることができる。

【0048】

ガラス基板 1 を 500 mm/s の速度で相対的に移動させながら $250\text{ }\mu\text{m}$ ピッチで、図 17 に示すように $200\text{ }\mu\text{m}$ 長さだけ照射する。即ち照射開始位置でレーザ光の照射を開始し、レーザ光の照射を持続したままステージを相対的に $200\text{ }\mu\text{m}$ 移動させ、照射終了位置でレーザ光の照射を停止する。ステージは継続して移動している。

【0049】

次にステージが $250\text{ }\mu\text{m}$ 移動した地点で、再び照射を開始し、 $200\text{ }\mu\text{m}$ 移動した時点で照射停止を行い、これを必要回数だけ繰り返す。その間、ステージは停止することなく、一定速度で連続的に移動を継続する。これにより、概ね $250\text{ }\mu\text{m} \times 200\text{ }\mu\text{m}$ のアニール領域（照射するレーザの幅を考慮すると、より厳密には $250\text{ }\mu\text{m} \times 205\text{ }\mu\text{m}$ のアニール領域）が $250\text{ }\mu\text{m}$ ピッチで形成されることになり、後で詳細に説明するが、レーザ光の移動した方向に結晶粒が成長する。照射する幅を正確に $200\text{ }\mu\text{m}$ とする場合は、レーザ光を走査距離が $195\text{ }\mu\text{m}$ となるように、EO モジュレータ 10 を制御すればよい。

【0050】

ここで、基板を相対的に走査させながら EO モジュレータ 10 でレーザ光 18 を ON/OFF させて照射する手順について、図 8 の矢印で示したように、X 方向に走査しながら $250\text{ }\mu\text{m}$ ミクロンピッチで距離 $200\text{ }\mu\text{m}$ だけ 1024 箇所を照射する場合を例に、図 9 に従って説明する。

【0051】

ステージ 2 の X 軸に付加したリニアスケール 3 はステージ 2 の X 方向への移動に応じて、一定間隔でパルス信号を発生する。発生する信号が正弦波の場合には 1 周期を 1 パルスの矩形波に変換して使用しても良い。このパルス信号をカウントすることで、ステージの位置を検出することができる。リニアスケール 3 で発生するパルス信号は、高精度のリニアスケールでは、例えば移動量 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 毎に 1 パルス発生する。パルス間隔が大きい場合には、電氣的に分割して、小さなパルス間隔にすることも可能である。

【0052】

ステージは停止状態から一定速度に達するまでに、一定の距離（加速領域）を必要とする。レーザ照射時のステージ速度を 500 mm/s とすると、 50 mm 程度の加速領域が必要であり、照射開始位置（図 8 におけるアニール領域 104 の左辺）より、加速領域として 50 mm 以上、例えば 60 mm だけ左側の位置（図 9 における Xs）に位置決めし、停止する。

【0053】

ここで、リニアスケール 3 からの信号をカウントする C1（カウンタ 1）をクリアしてからカウントを開始するとともに、ステージの駆動を開始する。カウンタ 1 はステージの移動に従って発生するパルス信号をカウントし、ステージが照射開始位置 X1 に到達した時点、即ち 60 mm 移動に相当するパルス数 $n1$ （ 60000 パルス）をカウントした時点でゲート ON 信号を出力する。この信号により、EO モジュレータ電源 21 へのゲートが開き、EO モジュレータ電源 21 への信号が伝達可能となる。この時点では、ステージ速度は加速を終え、一定速度に達している。

【0054】

このゲート ON 信号を受けて、C3（カウンタ 3）が EO モジュレータ電源 21 の ON 信号を出力するとともにカウントをクリアしてカウントを開始し、以降、照射ピッチに相当するパルス数 $n3$ （ 2500 パルス）をカウントする度に、EO モジュレータ電源 21 に ON 信号を出力する。

【0055】

一方、C4（カウンタ 4）は EO モジュレータ電源 21 への ON 信号を受けて、カウント

10

20

30

40

50

をクリアするとともにカウントを開始し、アニール長さ100ミクロンに相当するパルス数 n_4 (2000パルス)をカウントした時点でEOモジュレータ電源21にOFF信号を出力する。この動作を、カウンタ3がEOモジュレータ電源21へのON信号を発生する度に繰り返す。

【0056】

EOモジュレータ電源21はEOモジュレータ電源ON信号を受けてからEOモジュレータ電源OFF信号を受けるまでの間(500mm/sで200ミクロンを通過する時間:400マイクロ秒)、ポッケルスセル61にレーザ光18の偏光方向が90度回転する電圧を印加する。これにより、ポッケルスセル61に印加される電圧と同じ時間だけ、レーザ光18が出力され、基板1上に照射される。

10

【0057】

一方、C2(カウンタ2)はカウンタ1からのゲートON信号を受けてカウントをクリアするとともに、カウンタ4のEOモジュレータ電源OFF信号をカウントし、アニール領域数に相当するパルス数 n_2 (1024パルス)をカウントした時点で、ゲートを閉じる。これにより、EOモジュレータ電源21はEOモジュレータ電源ON信号やEOモジュレータ電源OFF信号を受けることがなくなり、EOモジュレータ電源21は動作しない。

【0058】

以上の手順により、図8に示したドライバ回路領域102の1回目のレーザアニールが終了するが、実際にはドライバ回路領域が数ミリ幅であり、1回の走査で全体をアニールできない。そのため、一定ピッチ(本実施例の場合には250ミクロン)Y方向に移動して、上に述べた手順を繰り返す。これにより、ステージ速度の変動の影響を全く受けずに、高精度にレーザ光18を照射することができる。ただし、走査を繰り返す場合、走査方向に平行にアニールの重なる部分、あるいはレーザが照射されなかった部分が発生する場合があるが、走査部と走査部のつながる部分にはトランジスタを形成しないようにレイアウト設計することが望ましい。

20

【0059】

ここで、レーザ光18が照射された場合の、多結晶シリコン薄膜の挙動を説明する。前述したように、本実施例では、ガラス基板1上にエキシマレーザでアニールされた多結晶シリコン薄膜が形成された基板をアニール対象に用いている。

30

【0060】

エキシマレーザによるアニールで得られた多結晶シリコン薄膜は、図10に示すように結晶粒径が1ミクロン以下(数100nm)の微細な結晶粒120、121の集合体である。図中に示した領域にレーザ光を照射すると、レーザ照射領域外の微細結晶粒120はそのまま残るが、レーザ照射領域内の微細結晶粒(例えば結晶粒121)は溶融する。

【0061】

その後、レーザ照射領域が通過することにより急速に凝固・再結晶する。この時、溶融したシリコンは溶融部周辺に残留している結晶粒を種結晶として、種結晶の結晶方位になった結晶が温度勾配に従ってレーザ光の走査方向に成長して行く。また、結晶粒の成長速度は結晶方位によって異なるため、最終的には最も成長速度の早い結晶方位を持つ結晶粒だけが結晶成長を続ける。

40

【0062】

即ち、図11に示すように、成長速度の遅い結晶方位をもつ結晶粒122は、周囲の成長速度の早い結晶方位をもつ結晶粒124、126の成長に抑えられ、結晶成長が止まる。また、成長速度が中程度の結晶方位を持つ結晶粒123、124は成長を続けるが、さらに成長速度の大きい結晶粒125、126の成長に抑えられ、やがて成長が停止する。最終的には成長速度の最も大きな結晶方位を持つ結晶粒125、126、127のみが成長を続ける。

【0063】

これら、最後まで結晶成長が続いた結晶粒125、126、127は、厳密な意味では独

50

立した結晶粒であるが、ほとんど同じ結晶方位を有しており、熔融再結晶した部分は実効的にほぼ単結晶と見なすことができる。

【0064】

レーザ光を上記したように多結晶シリコン薄膜に照射することにより、レーザ光を照射した部分のみが島状にアニールされ、特定の結晶方位を有する結晶粒のみが成長して、厳密な意味では多結晶状態であるが、ほぼ単結晶に近い性質を有する領域125～127が形成されたことになる。特に、結晶粒界を横切らない方向においては、実質的に単結晶と考えて良い。この時のシリコン膜の移動度として、 $400\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上、典型的には $500\text{ cm}^2/\text{Vs}$ が得られる。

【0065】

ガラス基板1を相対的に走査しながらこの手順を繰り返し、順次アニールの必要な部分にレーザ光を照射することにより、ドライバ回路のトランジスタを形成する領域をすべて、ほぼ単結晶に近い性質を有する領域に変換することができる。更に、単結晶に近い性質を有する領域は図11に示したように、結晶粒が一定方向に成長しているため、トランジスタを形成した際に、電流が流れる方向（ソースドレイン方向）と結晶粒の成長方向を一致させることにより、結晶粒界を横切るように電流が流れるのを避けることができる。

【0066】

そこで、図12に示すようにレーザ照射領域301のうち、成長速度の速い結晶粒のみで構成された部分が駆動用トランジスタの能動層（活性領域）302、303となるように、位置合わせすればよい。不純物拡散工程およびフォトリソグラフィング工程を経て、活性領域302、303以外を除去し、フォトリソグラフィング工程により図13に示すようなゲート絶縁膜を介したゲート電極305、オーミックな接続を有するソース電極306およびドレイン電極306を形成してトランジスタが完成する。

【0067】

ここで、活性領域303には結晶粒界304、304'が存在する。しかし、電流はソース電極306とドレイン電極307の間を流れるため、電流が結晶粒界304、304'を横切ることがなく、実質的に単結晶で構成された場合と等価な移動度が得られる。

【0068】

上記したように本発明のレーザアニールにより熔融再結晶した部分は、電流の流れる方向を、結晶粒界を横切らない方向に一致させることで、その移動度はエキシマレーザによるアニールを行っただけの多結晶シリコン薄膜と比較して、2倍以上に改善することができる。この移動度は、液晶を高速に駆動するためのドライバ回路を形成するに十分な値である。

【0069】

一方、画素部のスイッチング用トランジスタは、エキシマレーザによるアニールを実施しただけの多結晶シリコン薄膜103の領域で形成する。エキシマレーザによるアニールで得られた多結晶膜は結晶粒が微細で結晶方向もランダムなため、本発明のレーザアニールで得られた結晶粒に比べて移動度は小さいが、画素部のスイッチング用トランジスタに使用するには十分である。

【0070】

場合によっては、画素部のスイッチング用トランジスタとして非晶質シリコン膜でも十分に使える。この場合、ガラス基板1上に非晶質シリコン薄膜を形成し、エキシマレーザによるアニールを実施することなく、駆動回路を形成する部分に本発明のレーザアニール方法を実施すればよい。

【0071】

即ち、最初にレーザ光18が照射されて熔融したシリコンが凝固する過程で微細な多結晶状態になり、この時に形成された結晶粒が種結晶となって、エキシマレーザ照射により形成された多結晶状態のシリコン膜にレーザ光18を照射した場合と同様に、種々の結晶方位を有する結晶が成長するが、最終的には成長速度の最も速い方向の結晶粒のみが成長を続け、実質的に単結晶といえる多結晶シリコン膜が形成できる。

10

20

30

40

50

【0072】

図8に示す駆動回路領域102に対するレーザアニールが終了した後、駆動回路領域102'をアニールすることになるが、この場合は基板を90度回転させても良いし、走査方向を90度偏向しても良い。後者の場合、ビーム成型器(図1に於いてはシリンドリカルレンズ11)を90度回転させ、また矩形スリットの幅方向と長さ方向を切り換える必要がある。

【0073】

ただし、図8に示したガラス基板1において、駆動回路領域102、102'のうちの一方、例えば駆動回路領域102に高速な動作を必要とするトランジスタをまとめることができれば、駆動回路領域102のみに本発明のレーザアニールを実施するだけで良い。

10

【0074】

即ち、駆動回路領域102に形成されるトランジスタの能動層(活性領域)は電流が流れる方向に結晶粒界を持たない結晶粒を含む多結晶シリコンで構成され、高速に動作するトランジスタが得られる一方、駆動回路領域102'にはそれほど高速動作を必要としないトランジスタを形成するため、トランジスタの能動層(活性領域)はエキシマレーザでアニールされただけの微細結晶粒からなる多結晶シリコン膜で構成される。この場合には、基板の回転あるいは走査方向と線状ビームの方向を回転させる必要がなくなり、しかもアニールすべき領域も小さくすることができるため、スループット向上の効果が大きい。

【0075】

あるいは、高移動度を必要とする駆動回路領域602を画素領域601の外側の1辺にまとめることができれば、駆動回路用トランジスタ全ての能動層(活性領域)が電流の流れる方向に結晶粒界を持たない結晶粒を含む多結晶シリコンで構成され、高速に動作するトランジスタが得られる。さらに、基板の回転あるいは走査方向と線状ビームの方向を回転させる必要がなくなり、スループット向上の面からも好ましい。ただし、複数のアライメントマークが必要なことは言うまでもない。

20

【0076】

なお、本実施例の説明に於いて、ステージの位置あるいは移動量を検出するために、ステージに設けられたリニアスケール(リニアエンコーダ)からの信号をカウントすることで説明したが、これに限定されるものではなく、ステージ位置を検出するために、レーザ干渉を用いた測長器、ステージを駆動するモータ軸に設置したロータリエンコーダ等からの出力信号を用いることができる。

30

【0077】

上に述べた手順を含めたTFT基板の製造工程は以下のようにまとめることができる。即ち、図18に示すように、基板上に絶縁膜形成、a-Si(非晶質シリコン)膜形成を行い、エキシマレーザアニールを行った後に本発明のレーザアニールを、駆動回路を構成するトランジスタの能動層部分とその周辺のみに行う。

【0078】

本発明のレーザアニール工程を更に詳細に述べると図19に示すように、エキシマレーザアニールを実施した基板を本発明のレーザアニール装置に搭載し、基板端面あるいは角部でプリアライメントを行い、レーザ加工等によりアライメントマークを形成する。このアライメントマークを検出してアライメント(精アライメント)を行った後、設計データに従って駆動回路を構成するトランジスタの能動層部分とその周辺のみレーザアニールを実施する。

40

【0079】

レーザアニール装置に搭載された時点で、フォトリソプロセス等により他の手段でアライメントマークが形成されている場合には、プリアライメント、アライメントマーク形成の工程は不要である。所望の領域が全てアニールされるまで繰り返した後、基板を搬出する。その後、アライメントマーク103、103'を基準に、あるいはアライメントマーク103、103'から算出される原点座標を基準に、フォトリソ工程により、多結晶シリコン膜の必要な部分のみを島状に残す。

50

【0080】

その後、フォトリソ工程により、ゲート絶縁膜形成、ゲート電極形成を経て不純物拡散、および拡散領域活性化を行う。その後、層間絶縁膜形成、ソース・ドレイン電極形成、保護膜（パッシベーション膜）形成などのフォトリソ工程を経て、駆動回路と画素部101が形成され、TFT基板が完成する。

【0081】

尚、アライメントマーク103、103'は本発明のレーザアニールを行った後、少なくとも1回のフォトリソ工程での位置合わせに用いられる。その後は上記フォトリソ工程で新たに形成したアライメントマークを使用しても良い。また、図13に示したトランジスタは1例を示したに過ぎず、これに限定させるものではない。トランジスタとして種々の構造が可能であるが、本発明の主旨を逸脱しない範囲で種々の構造のトランジスタを形成可能であることは明らかである。

【0082】

一方、画素部のスイッチング用トランジスタはエキシマレーザによるアニールを実施しただけの多結晶シリコン薄膜103の領域で形成する。即ち、アライメントマークを基準に、あるいはアライメントマークから算出される原点座標を基準に、ゲート絶縁膜形成、ゲート電極形成、不純物拡散、拡散領域の活性化、ソース・ドレイン電極形成、パッシベーション膜形成等のためのフォトリソプロセスを経て、TFT基板が完成する。

【0083】

この後、完成したTFT基板に配向膜を形成し、ラビング工程を経た後、カラーフィルタを重ねて液晶材料を封入するLCD（パネル）工程、バックライトなどと一緒に組み込むモジュール工程を経て、高速ドライバ回路をガラス基板上に形成した液晶表示装置（いわゆるシステム・オン・パネル）が完成する。

【0084】

本発明のレーザアニールを適用して製造された液晶表示装置を搭載した製品の一例として、図14（a）に示すような液晶テレビ401のディスプレイ部、図14（b）に示すような携帯電話402のディスプレイ部、あるいは図14（c）に示すようなノート形パソコン403のディスプレイ部のほか、自動車のダッシュボードに格納される各種計器のディスプレイ部、携帯型ゲーム機のディスプレイ部などが上げられる。

【0085】

次に本発明の別な実施例について図15に従って説明する。図15は図6に示したものと構造の異なる、線状ビームを得るためのビーム成形光学系11であり、プリズム71、シリンドリカルレンズ72、1/2波長板74、平面ミラー75、76から構成されている。入射した直線偏光レーザ光18はプリズム71を透過し、プリズム71の頂角部を境に2分割され、互いに重なる方向に偏向される。2分割されたビーム73、73'は一度重なった後分離し、平面ミラー75、76で反射され、再び重なる。

【0086】

2分割されたビームが完全に分離した位置で、一方のビーム（図15では73）のみ、1/2波長板74を透過する。この1/2波長板は透過するビームの偏光方向がちょうど90度回転するように調整されている。ビーム成形光学系11の手前に別な1/2波長板（図示せず）を設置し、ビーム成形光学系11に入射するレーザ光18の偏光方向を回転させ、図15に示した1/2波長板74で偏光方向が90度回転するように調整することが可能である。

【0087】

また、プリズム71の頂角は2分割されたビーム73、73'が平面ミラー75、76で反射された後、電動矩形開口スリット面35で完全に重なるように設計されている。また、シリンドリカルレンズ72はプリズム71を透過したレーザ光73、73'が偏向される方向と直交する方向にのみ、即ち幅方向に対して、電動矩形開口スリット12面で集光する焦点距離のものが選択される。

【0088】

図7(a)に示す様に、もともとガウス形の分布であったレーザ光はプリズムを透過して2分割され、一度重なった後に分離し、平面ミラー75、76で反射され、一方が他の一方と偏光方向が直交する関係を保持したまま徐々に重なり、電動矩形開口スリット面35で図7(b)に示すように完全に重なる。ここで、ビーム径をビーム中心のエネルギー密度の $1/e^2$ となる点で規定している。

【0089】

尚、本実施例において1/2波長板74は入射レーザ光18がプリズム71で2分割され、完全に分離してから挿入したが、第1の実施例と同様にプリズムの手前に置いても良い。この時、1/2波長板の端部がプリズムの頂角部と一致するように調整することが必要になる。

10

【0090】

この結果、分割された各ビームの偏光方向が直交しているため、重ねても互いに干渉することはない、図7(c)に示すようにほぼ均一なエネルギー分布を持つ線状ビームが形成される。尚、図7に示した分布と直交する方向(幅方向)のエネルギー分布は、シリンドリカルレンズで集光された結果、ほぼガウス形の分布となる。

【0091】

即ち、長手方向に対してはビーム成形光学系11に入射したビーム径の1/2で均一な、幅方向に対してはシリンドリカルレンズ33で集光された寸法の線状ビームが得られる。この時のエネルギー密度は、中央部でシリンドリカルレンズのみで集光した場合の中心におけるエネルギー密度の約121%、周辺部で114%と、概ね均一な分布となる。

20

【0092】

ビーム成形光学系11で線状に集光されたレーザ光18は必要に応じて電動矩形開口スリット12で不要な部分のレーザ光を切り落とされて所望の矩形形状に成形され、対物レンズ13でガラス基板1上に縮小投影される。対物レンズ13の倍率をMとすると、電動矩形開口スリット12の像、あるいは電動矩形スリット12面を通過したレーザ光18の大きさは倍率の逆数、即ち1/Mの大きさで投影される。ビーム成形光学系11で長手方向5mm、幅方向に100ミクロンの線状ビームができた場合、20倍の対物レンズを使用することで、ガラス基板1表面で長手方向250ミクロン、幅方向5ミクロンの線状ビームが得られることになる。

【0093】

この線状ビームでアニールする手順、被照射部の挙動などは前述したとおりであり、レーザを照射した部分には駆動回路を形成するに十分な特性の多結晶シリコン膜が得られる。この時のシリコン薄膜の移動度として、 $400\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上、典型的には $500\text{ cm}^2/\text{Vs}$ が得られる。

30

次に別の実施例について、図16に従って説明する。図16は図6、図15とは異なる構成のビーム成形光学系11で、パウエルレンズ78と呼ばれる光学素子とシリンドリカルレンズ79で構成される。パウエルレンズ78は「Linear Diverging Lens」として米国特許USP4836299に記載されているものである。

【0094】

パウエルレンズ78は1次元にビームを広げるもので、図16(a)において入射したレーザ光18を中心部は粗に、周辺部は密になるように分布を変換することで、ガウス分布形のレーザ光が入射した場合に、ほぼ均一な分布に変換する。一方、図16(b)は図16(a)の側面図を示すが、レーザ光18はパウエルレンズ78を平行光のまま透過し、シリンドリカルレンズ79により集光される。

40

【0095】

ガウス形の分布を有するビーム径2mm、拡がり角0.4ミリラジアン(0.4mrad)のレーザ光18に対して、投射距離500mmで5mmに広がるパウエルレンズ78を使用すると、入射レーザ光18はパウエルレンズ78の入射曲面の曲率に応じて中心部は粗に、即ちエネルギー密度が減少するように、また周辺部は密に、即ちエネルギー密度が増加するように、分布を変更させながらビーム径が広げられ、投射位置がスリット面35と一致するように配置す

50

ることで、長手方向 5 mm のビームが得られる。結果として、ガウス形の分布の中心部はエネルギー密度が低下し、周辺部はエネルギー密度が増加することで、図 16 (a) で示した拡散方向（即ち、線状ビームの長手方向）はほぼ均一なエネルギー分布となる。

【0096】

一方、拡散方向と直交する方向には、焦点距離 500 mm のシリンダリカルレンズを配置することで、200 ミクロン程度の幅に集光できる。ビーム成形光学系 11 で線状に集光されたレーザ光 18 は必要に応じて電動矩形開口スリット 12 で不要な部分のレーザ光を切り落とされて所望の矩形形状（線状）に成形され、対物レンズ 13 でガラス基板 1 上に縮小投影される。対物レンズ 13 の倍率を M とすると、電動矩形開口スリット 12 の像、あるいは電動矩形スリット面 35 を通過したレーザ光 18 の大きさは倍率の逆数、即ち $1/M$ の大きさで投影される。

10

【0097】

ここで、20 倍の対物レンズを使用することで、ガラス基板 1 表面で長手方向 250 ミクロン、幅方向 10 ミクロンの線状ビームが得られることになる。この線状ビームを基板 1 上を走査してアニールを実施するが、アニールする手順、被照射部の挙動などは前述したとおりである。

【0098】

図 16 においては、パウエルレンズ 78 とシリンダリカルレンズ 79 を個別に配置したが、図 20 に示すように、一体に形成された光学素子 80 として用いても全く同じ効果が得られる。また、パウエルレンズ 78 には幾つかの形があるが、基本的には同じ機能を有しており、同様に使用することができる。

20

【0099】

【発明の効果】

上記したように、本発明のレーザアニール装置およびレーザアニール方法によれば、簡単な構造の光学系で均一なエネルギー分布を有する線状ビームを得ることができ、これにより、非晶質あるいは多結晶シリコン薄膜などの結晶粒を所望の方向に成長させ、大きさの結晶粒からなる多結晶シリコン薄膜を形成することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の 1 実施例であるレーザアニール装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 2】本発明の 1 実施例に用いた EO モジューレータの斜視図である。

30

【図 3】本発明の 1 実施例に用いた EO モジューレータの斜視図である。

【図 4】EO モジューレータにおける印加電圧と透過率の関係を示すグラフである。

【図 5】EO モジューレータにおける、レーザ入力と印加電圧とレーザ出力の関係を示すグラフである。

【図 6】本発明の 1 実施例におけるビーム成形光学系の構成を示す平面図と側面図である。

【図 7】本発明の 1 実施例であるビーム成形光学系で成形されるビーム形状の説明図である。

【図 8】本発明のレーザアニールを行う際のレーザ照射領域を説明する斜視図である。

【図 9】本発明のほかの実施例であるステージの移動とレーザを照射するタイミングを示すタイムチャートである。

40

【図 10】本発明の 1 実施例におけるアニール方法を実施する前の結晶状態を示す平面図である。

【図 11】本発明の 1 実施例におけるアニール方法を実施した後の結晶状態を示す平面図である。

【図 12】本発明によるレーザアニール方法を実施した領域と駆動回路活性領域の位置関係を示す基板の平面図である。

【図 13】本発明によるレーザアニール方法を実施して形成された駆動回路用トランジスタの構成を示す基板の平面図である。

【図 14】(a) ~ (c) は、いずれも本発明によるレーザアニールを適用した T F T 基

50

板で構成された液晶表示装置の適用製品例を示す斜視図である。

【図 1 5】本発明の別な実施例であるビーム成形光学系の構成を示す平面図と側面図である。

【図 1 6】本発明の別な実施例であるビーム成形光学系の構成を示す平面図と側面図である。

【図 1 7】本発明のレーザアニールを行う際のレーザ照射領域を説明する斜視図である。

【図 1 8】本発明のレーザアニール方法を適用した液晶表示装置製造工程を示すフローチャートである。

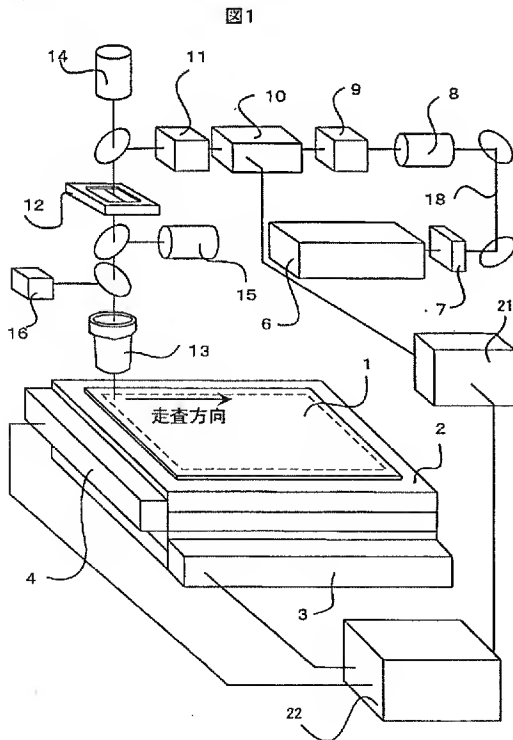
【図 1 9】本発明のレーザアニール工程を示すフローチャートである。

【図 2 0】本発明のレーザアニール装置のビーム成形光学系として適用可能な光学素子の平面図及び側面図である。 10

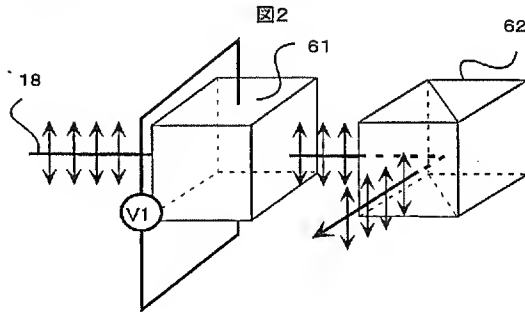
【符号の説明】

1…ガラス基板、2…ステージ、3、4…リニアスケール、6…レーザ発振器、7…シャッタ、8…ビームエキスパンダ、9…透過率連続可変フィルタ、10…EOモジュレータ、12…電動矩形スリット、13…対物レンズ、21…EOモジュレータ電源、22…制御装置、31… $1/2$ 波長板、32、71…プリズム、33、72、79…シリンドリカルレンズ、61…ポッケルス・セル、62…偏光ビームスプリッタ、78…パウエルレンズ、101…画素領域、102…駆動回路領域、103…アライメントマーク、104～110…アニール領域、125、126、127…レーザアニールにより成長した結晶粒、304…結晶粒界、305…ゲート電極、306…ソース電極、307…ドレイン電極、401…液晶テレビ、402…携帯電話、403…ノート型パソコン 20

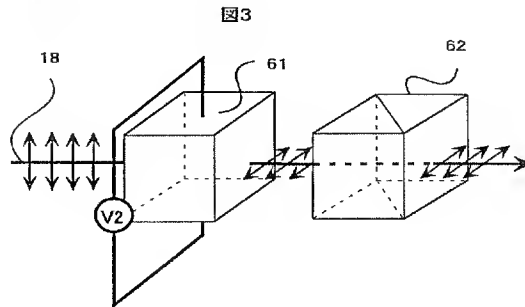
【図 1】



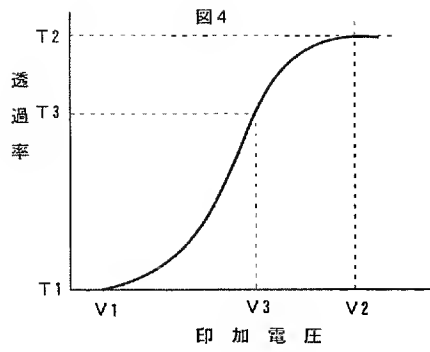
【図 2】



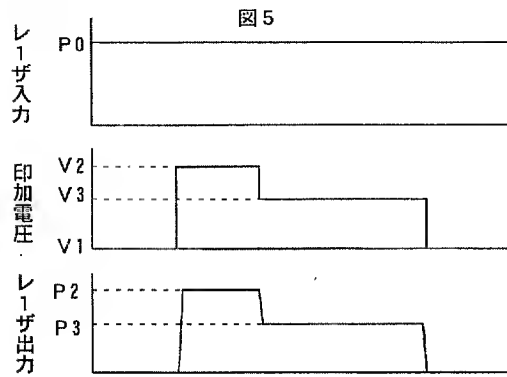
【図 3】



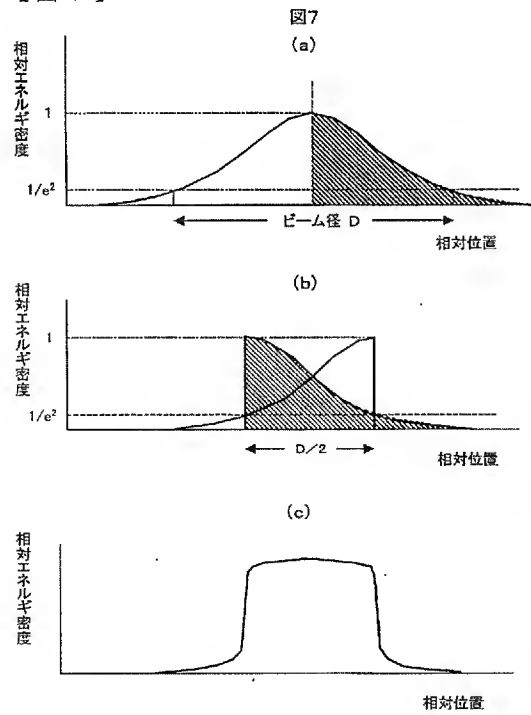
【図 4】



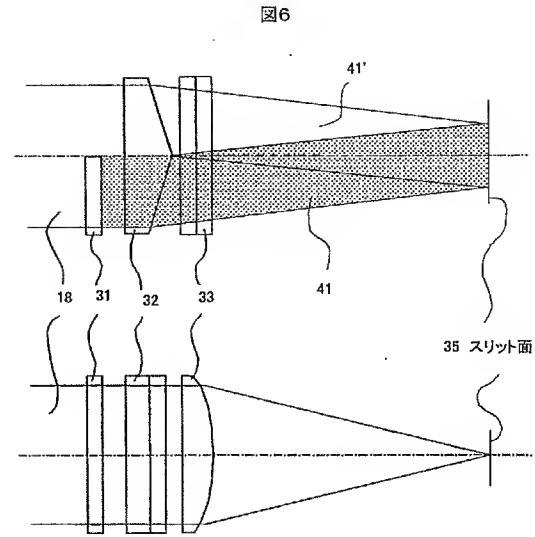
【図 5】



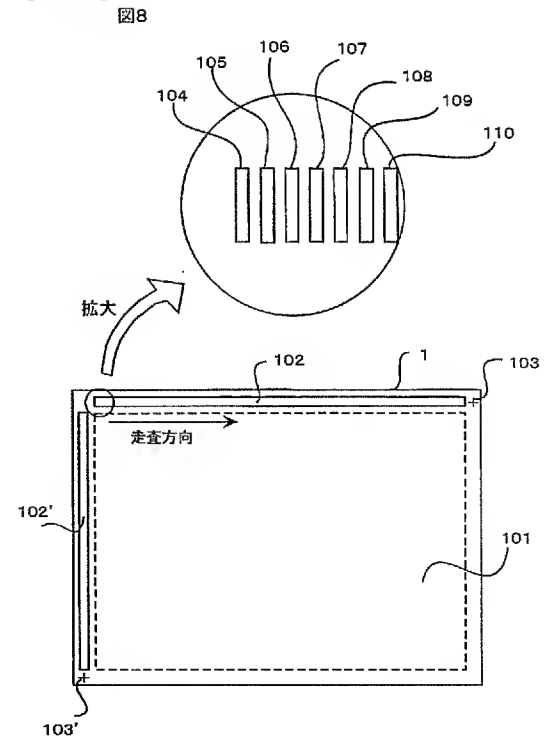
【図 7】



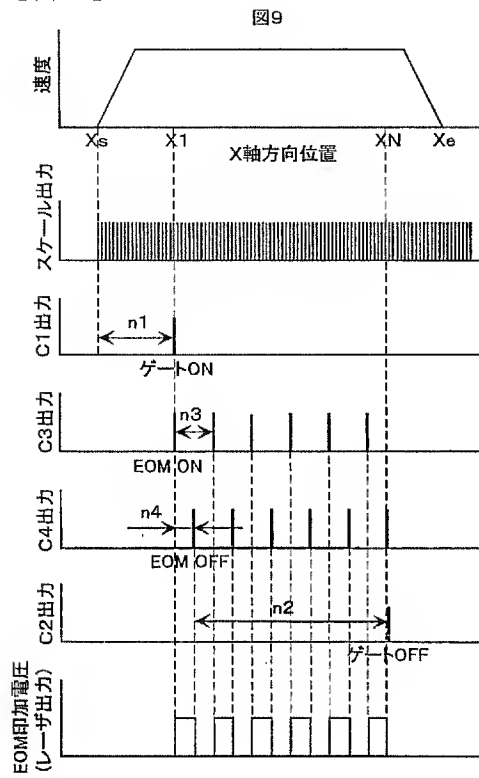
【図 6】



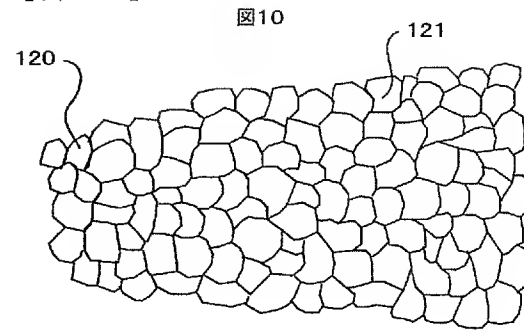
【図 8】



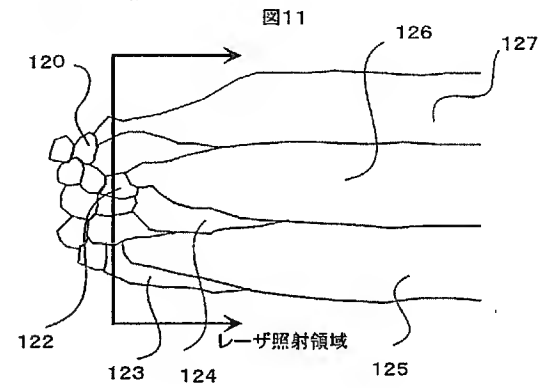
【図 9】



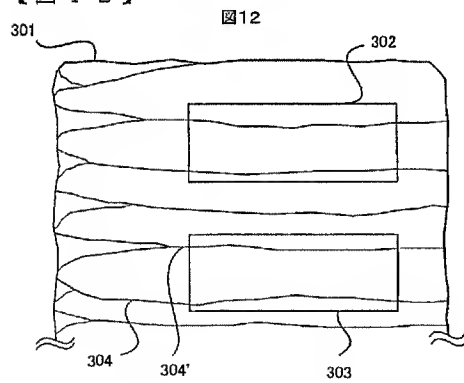
【図 10】



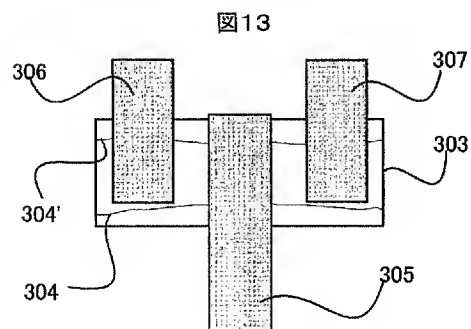
【図 11】



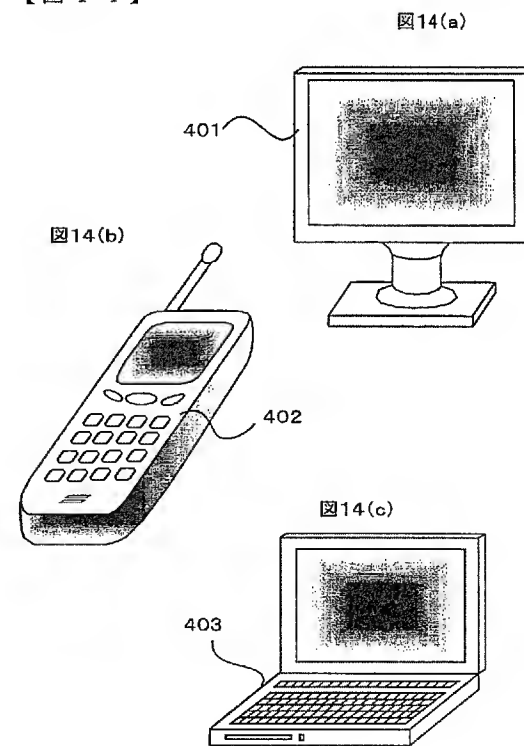
【図 12】



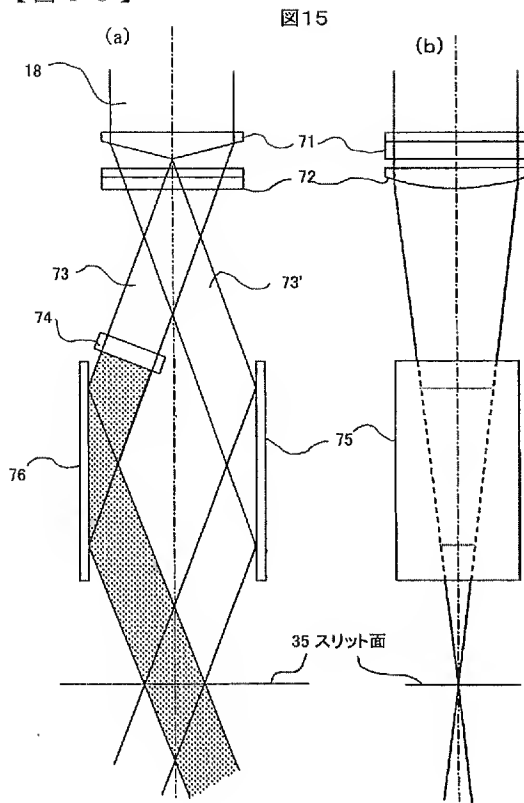
【図 13】



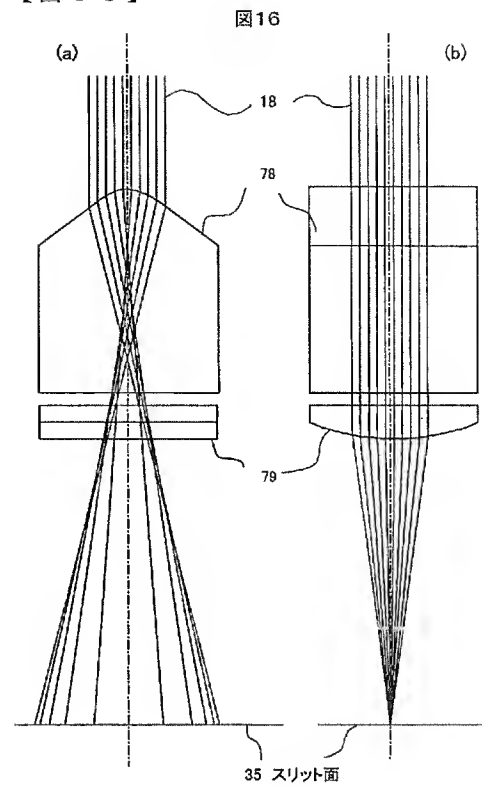
【図 14】



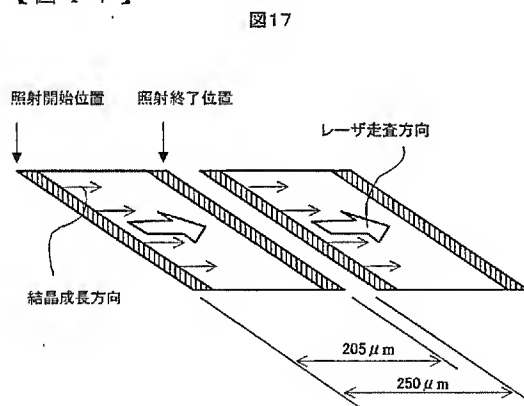
【図15】



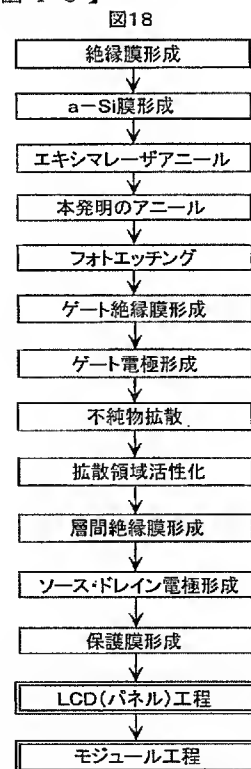
【図16】



【図17】

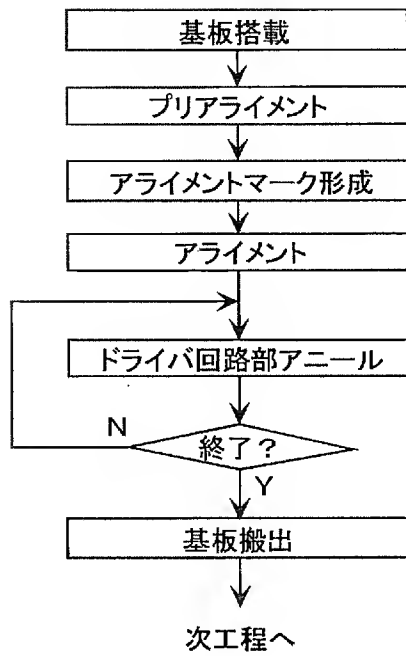


【図18】



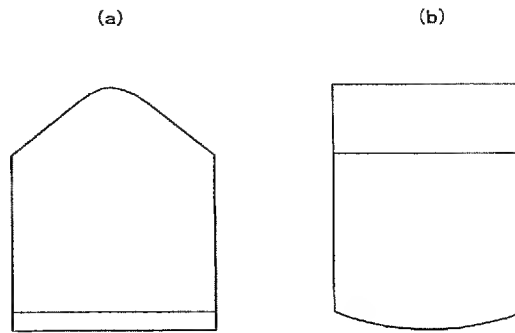
【図 19】

図19



【図 20】

図20



フロントページの続き

(72)発明者 波多野 睦子

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目２８０番地 株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 大倉 理

千葉県茂原市早野３３００番地 株式会社日立製作所ディスプレイグループ内

Fターム(参考) 5F052 AA02 BA07 BA12 BA18 BB01 BB02 BB07 CA07 DA01 DA02

EA12 JA01

5F110 AA01 BB02 CC02 DD02 DD13 DD14 DD17 GG02 GG13 GG15

GG16 GG25 HJ15 HJ23 NN02 NN78 PP03 PP05 PP06 PP23

PP24 PP29 PP36